USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL DOS CERRADOS

Adriana Aparecida SILVA [1]

RESUMO

Localizado no Planalto Central do Brasil, o Cerrado é o segundo maior bioma do país em área, apresentando aproximadamente 2 milhões de ha (área contínua). Denominado por alguns como savana, devido a relação ecológica e fisionômica existente, este bioma é composto de dois grupos de espécies. Um primeiro grupo formado basicamente por árvores e arbustos e um segundo formado pelo estrato herbáceo. São as variações nas ocorrências destes elementos que fornecem base para a classificação de seus diferentes tipos fitofisionômicos. Sendo eles: campo limpo, campo sujo (formados basicamente pelo estrato herbáceo), cerrado ralo, cerrado típico e cerradão (formados pelo estrato arbóreo/arbustivo). Com seu processo de ocupação considerado tardio, foi somente no século XX, mais especificamente nos últimos cinqüenta anos, que esta ocupação se intensificou, tomando grandes proporções e se efetivando enquanto elemento de transformação da paisagem. Porém, a substituição da vegetação original por áreas destinadas sobretudo à agropecuária, não aconteceu de forma adequada. Foi sim, realizada sem o conhecimento das limitações inerentes ao solo e das diversidades e especificidades ecológicas existentes. Hoje, temos que cerca de 40% das áreas de vegetação nativa do cerrado já sofreram algum tipo de transformação e que outras 40% já foram completamente transformados, enquanto que dos 20% remanescentes, apenas 0.85% representam áreas de preservação ambiental federal, estadual ou municipal. Entenda-se que os 19,15% restante são áreas particulares e, portanto, passíveis de serem dizimadas. Este perfil de degradação se repete para o Estado de Goiás, que possui 42,5% do território destinado a agricultura e/ou pastagem, enquanto que apenas 1,2% representam áreas de preservação. Acrescenta-se o fato, de que, a cada ano é desmatado cerca de 60.000 ha de área de cerrado. Estes dados nos remetem a uma necessidade, mais que urgente, de se pensar no efetivo monitoramento dos remanescentes de cerrado. O fato é que diante da constante transformação da paisagem, se faz necessária à utilização de instrumentos de apoio capazes de acompanhar tal processo, uma vez que a fiscalização *in loco* se torna onerosa, lenta e ineficaz diante da dinâmica espaço-temporal. A ciência geográfica, tem procurado se aliar às geotecnologias, no sentido de automatizar e especializar suas análises. Neste sentido, o sensoriamento remoto aplicado à geografia oferece elementos que vão subsidiar a dinâmica da análise espaço-temporal, ressaltar a importância de alvos, viabilizando, assim, o planejamento e a detecção de mudanças ocorridas na paisagem. Para tanto, existe uma série de possibilidades de imagens provindas de diferentes sensores e uma diversidade de processamentos que viabilizam a identificação, montagem de bancos de dados e posterior atualização destes, capacitando assim, para o monitoramento sistemático. Neste estudo, cuja área principal se refere ao Estado de Goiás, optou-se por utilizar imagens de dois sensores MODIS e TM de forma integrada e, de técnica para detecção de mudanças, denominada, Modelo Linear de Mistura Espectral. Tendo sido acompanhadas as respostas para um período de dois anos, foram observadas variações em decorrência dos seguintes fatores: características das imagens, procedimentos utilizados para aplicação da técnica de detecção de mudança, além, de mudanças advindas das especificidades do bioma. Assim, o uso do sensoriamento remoto se mostrou eficaz para o monitoramento ambiental, desde que sejam observadas as especificidades da paisagem, além do tipo da imagem e dos procedimentos a serem utilizados.

[1] Universidade Estadual de Goiás, Professora Mestre, adriana_sol@bol.com.br

INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro, localizado basicamente no Planalto Central é o segundo maior bioma do país em área. Apresenta aproximadamente 2 milhões de Km^2 que correspondem a 23% do território nacional. Denominado por alguns como *savana*[2], devido à relação ecológica e fisionômica existente, sua fauna é bastante rica em espécies nativas. Sua flora, também muito rica, possui uma fisionomia única, que muito tem sido atribuída a fatores decorrentes da ação combinada do fogo e de deficiências pedológicas, além do que, em menor grau, da deficiência hídrica em alguns períodos do ano (CAMARGO, 1962 in FERRI, 1976).

Esta fisionomia única que identifica e caracteriza o Cerrado ocorre, no entanto, devido a algumas características consideradas peculiares de seu estrato arbustivo. São árvores baixas, com tronco e galhos de caule grosso, na maior parte retorcidas, freqüentemente inclinadas ou paralelas ao chão e que passam boa parte do ano secas e desprovidas de folhas (EITEN, 1994 in PINTO 1994). Existe uma grande variação no que diz respeito à distribuição ao longo da paisagem deste extrato arbustivo, o que faz com que o Cerrado possa ser classificado em diferentes tipos fisionômicos, segundo o gradiente de biomassa. A literatura classifica em cinco os principais grupos fisionômicos, sendo eles: Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado Ralo, Cerrado Típico e Cerradão. Os primeiros se caracterizam pela ausência do estrato arbóreo, sendo formados basicamente por um estrato herbáceo. Os três últimos possuem uma fisionomia que varia de acordo com a distribuição e concentração de estratos arbóreo/arbustivo (EITEN, 1983) (RIBEIRO e WALTER, 1998).

Uma outra importante característica do Cerrado é o fato de que ele é considerado como o "berço das águas". Isto se dá por possuir uma grande disponibilidade de águas subterrâneas. Além disto é sobre seus domínios que se localizam as nascentes de três grandes e importantes bacias hidrográficas brasileiras: a Bacia do Paraná, do Araguaia/Tocantins e do São Francisco (WWF, 2000).

Faz-se importante ressaltar que este mesmo aspecto que faz com que hoje consideremos exuberante a fisionomia do Cerrado, muito por tempo relacionou o bioma ao hostil (ELIS, 1997). Talvez, tenha sido este o motivo que contribuiu para que o Cerrado tenha sido por tanto tempo ignorado no processo de ocupação do território brasileiro.

Porém, esta ocupação, mesmo que tardia, acabou por acontecer. Foram três as principais etapas do processo de ocupação. Sendo em um primeiro momento, nos séculos XVIII e XIX, devido à exploração de minérios (principalmente o ouro), sem grande fixação às terras. Posteriormente, no início do século XX, com vistas à agropecuária, uma vez que, com o empobrecimento e a degradação dos solos da região sul do país, houve a crescente necessidade de abertura de novas fronteiras agrícolas. No entanto, a intensificação no processo de ocupação aconteceu de fato de meados do século XX em diante, uma vez, que a criação de novos municípios, a abertura de estradas e vias férreas e a implantação da capital federal deram um novo impulso à ocupação do Planalto Central, mesmo se considerarmos que quase toda a força de ocupação tenha se concentrado nos arredores de Brasília (BARREIRA, 2000).

Por fim, nesta perspectiva, devemos considerar que este acelerar no processo de ocupação, principalmente no que se refere à substituição da vegetação original por áreas destinadas à agropecuária, não aconteceu de forma adequada. Foi sim, realizado sem o conhecimento das limitações inerentes ao solo (em virtude disto temos hoje acelerados processos de voçorocamentos e arenização em algumas regiões, como o caso da região sudoeste do Estado de Goiás) ou mesmo das diversidades e especificidades ecológicas existentes causando assim, perda da biodiversidade (WWF, 2000).

Em decorrência deste recente, porém desenfreado processo de ocupação do Cerrado, hoje estima-se que cerca de 80% do bioma natural já tenha sido transformado, segundo os

[2] Entenda-se aqui o termo savana não enquanto uma categoria fisionômica, e sim como tipo de vegetação encontrada na África, determinada por fatores climáticos e pelo tipo de solo (EITEN, 1994 in PINTO 1994).

resultados obtidos por MANTOVANI e PEREIRA (1998), MMA (1999), WWF (2000). Sendo que destes, 40% conservam parcialmente suas características e os outros 40% já perderam por completo suas características originais. Do restante, cerca de 20% da área total, é preciso destacar que apenas 0,85% refere-se a áreas de preservação ambiental federal, estadual ou municipal (FUNATURA, 1992). Entenda-se, portanto, que os outros 19,15% são áreas particulares e, por isso, passíveis de serem exploradas, ainda mais diante da "necessidade" crescente de ampliação de áreas agricultáveis para produção de alimentos.

Neste contexto do Cerrado, a situação do Estado de Goiás não é muito diferente. Sendo o único Estado da Federação que se encontra totalmente inserido dentro seus dos domínios, este vem perdendo constantemente áreas naturais para a agropecuária, em conseqüência deste mesmo processo desenfreado de uso e ocupação do solo. Estima-se que cerca de 60.000 ha são desmatados anualmente em favor da ampliação de áreas para pecuária extensiva e para a monocultura intensiva de grãos. Segundo levantamento recente Goiás se encontra hoje com cerca de 42,5% de seu território recoberto por pastagens cultivadas e/ou áreas de agricultura (SANO *et al*., 2000), enquanto que apenas cerca de 4,89% do território goiano se refere a unidades de conservação federais, estaduais, municipais ou particulares (NOVAES *et al*., 2004). Média está maior que a do Cerrado como um todo, porém, número ainda inferior ao mínimo de 10% considerado necessário pela maioria dos especialistas para a preservação da fauna e flora.

Devido à constante perda de vegetação natural, motivada pela substituição crescente desta para área de agricultura e de pastagem, vemos que este quadro, se mantido, pode levar à transformação definitiva do bioma Cerrado. Faz-se necessário então a identificação de novas áreas ambientalmente características e que estas sejam preservadas por lei, possibilitando, assim, a conservação e preservação deste bioma. Para tanto é preciso que se façam cumprir as leis já existentes, como o Código Florestal, em vigor desde 1965, que contém instrumentos de ação repressora contra a destruição de áreas de preservação permanente. Leis estas muitas das vezes não postas em prática devido a falta de fiscalização, que ocorre geralmente em virtude das dificuldades na constatação da inflação *in loco*.

Dificuldades na execução deste tipo de monitoramento em campo, infelizmente tem sido uma prática, uma vez que trata-se de uma atividade onerosa e morosa, dada a extensão da área e o número de pessoal, geralmente insuficiente para tal recobrimento. Outro fator importante a ser considerado, se refere à dinâmica do fenômeno, já que a transfomação da paisagem se dá de forma muito mais veloz que a própria capacidade dos responsáveis em acompanhar tal evolução.

A ciência geográfica a muito discute questões relativas à dinâmica da paisagem. Em virtude deste novo impulso, no que se refere às transformações em uma escala espaço/temporal mais dinâmica, esta ciência buscou o uso de geotecnologias para que auxiliem nesta atividade. Neste sentido, efetivamente tem-se procurado aliar a geografia à ciência do sensoriamento remoto, com vistas a automatizar e especializar suas análises. O sensoriamento remoto aplicado na geografia oferece elementos que vão subsidiar a dinâmica da análise espaço-temporal, ressaltar a importância de alvos, viabilizando, assim, o planejamento e a detecção de mudanças ocorridas na paisagem.

Para tanto, existe uma série de possibilidades de imagens provindas de diferentes sensores e tipos diferenciados de processamentos que viabilizam a identificação, montagem de bancos de dados e posterior atualização destes, capacitando assim, para o monitoramento sistemático. Optamos aqui por utilizar duas imagens com caracteríticas distintas, para assim discutir a mais viável para este tipo de análise.

Uma das imagens de sensoriamento remoto mais utilizadas tem sido as do sensor TM (*Thematic Mapper*), advindas do satélite Landsat (*Land Remote-sensing Satellite*). Possuindo uma série de cerca de trinta anos de dados disponíveis são utilizadas nas mais diversas áreas de pesquisa. Estas imagens, no entanto, apresentam algumas características

que, de certa forma, limitam seu uso quando consideramos um recorte espaço-temporal incompatível com suas especificidades. Estamos falando da resolução temporal de 16 dias, espacial de 30 metros, além do custo de aquisição e da necessidade de procedimentos metodológicos mais elaborados para a sua interpretação.

Estes fatores, antes de comprometerem o enorme potencial e importância das imagens TM, sugerem, ao contrário, a necessidade destas serem complementadas com o uso de outros dados orbitais, de maior resolução temporal e menor resolução espacial. Tal fator possibilita, entre outros, uma redução considerável no conjunto de dados a serem processados e interpretados, além de uma visão mais integrada dos diferentes padrões de organização das paisagens.

Entre os vários sensores com estas características, destacam-se as imagens provindas do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Este sensor, configurado para fornecer dados sobre a dinâmica da biosfera terrestre, opera com 36 bandas espectrais, das quais sete são semelhantes às do sensor TM, e fornece um recobrimento global e contínuo a cada dois dias, com resoluções espaciais variando de 250 a 1000m, o que o torna mais generalizador. Uma característica importante é que seus dados, já corrigidos para efeitos atmosféricos (nuvens, aerossol etc) e georeferênciados, são distribuídos gratuitamente na forma de diferentes produtos dentre os quais o MOD13, que se refere ao produto Índice de Vegetação, que utilizamos nesta pesquisa.

Para se obter informações das imagens de satélites, é preciso processa-las. Existe uma infinidades de métodos e técnicas para se trabalhar, no sentido de detectar mudanças ocorridas de um ano para outro, viabilizando assim o monitoramento sistemático. Alguns técnias são mais simples, como a subtração entre bandas, outras mais complexas como o Modelo Linear de Mistura Espectral - MLME, que detecta alterações em virtude de mudanças na resposta dos elementos que compõem a imagem.

Optamos por utilizar o Modelo Linear de Mistura Espectral (que será melhor descrito no ítem seguinte), com o intuito de observar as vantagens de se aplicar este tipo de metodologia, através da qual é possível identificar os alvos de interesse, além de estimar a proporção de cada um dos componentes do *pixel*. Deste modo, buscamos destacar as mudanças ocorridas na paisagem do Estado de Goiás, entre os anos de 2001 e 2002, além de inferir a respeito da viabilidade do uso de imagens MODIS para o monitoramento ambiental dos Cerrado.

MÉTODOS e TÉCNICAS

Área de Estudo

A área de pesquisa refere-se ao polígono do Estado de Goiás em toda sua extensão, quadrante 47º a 55º de longitude oeste e 13º a 19º de latitude sul, incluindo o DF. Este Estado é o único que se encontra totalmente inserido na área de domínio do bioma Cerrado. Para recobrir toda a área do Estado é necessário o uso de várias imagens de satélite. O número de imagens varia, no entanto, dependendo da resolução espacial do sensor. Para o recobrimento utilizando imagens do sensor TM, com resolução de 30 metros, são necessárias vinte e três cenas, cujas referências são: órbita-ponto 220/69,70,71,72,73; 221/69,70,71,72,73; 222/69,70,71,72,73; 223/69,70,71,72,73 e 224/71,72,73. Já para o recobrimento utilizando as imagens do sensor MODIS, resolução de 250m, são necessárias apenas dois *tiles* (que se referem às cenas deste sensor), cujas referências são: h13v10 e h12 v10. Deve-se destacar que quase toda a superfície do Estado de Goiás encontra-se recoberta pelo *tile* h13v10, ficando apenas uma porção do sudoeste goiano a ser recoberto pelo *tile* h12v10 (Figura 1).

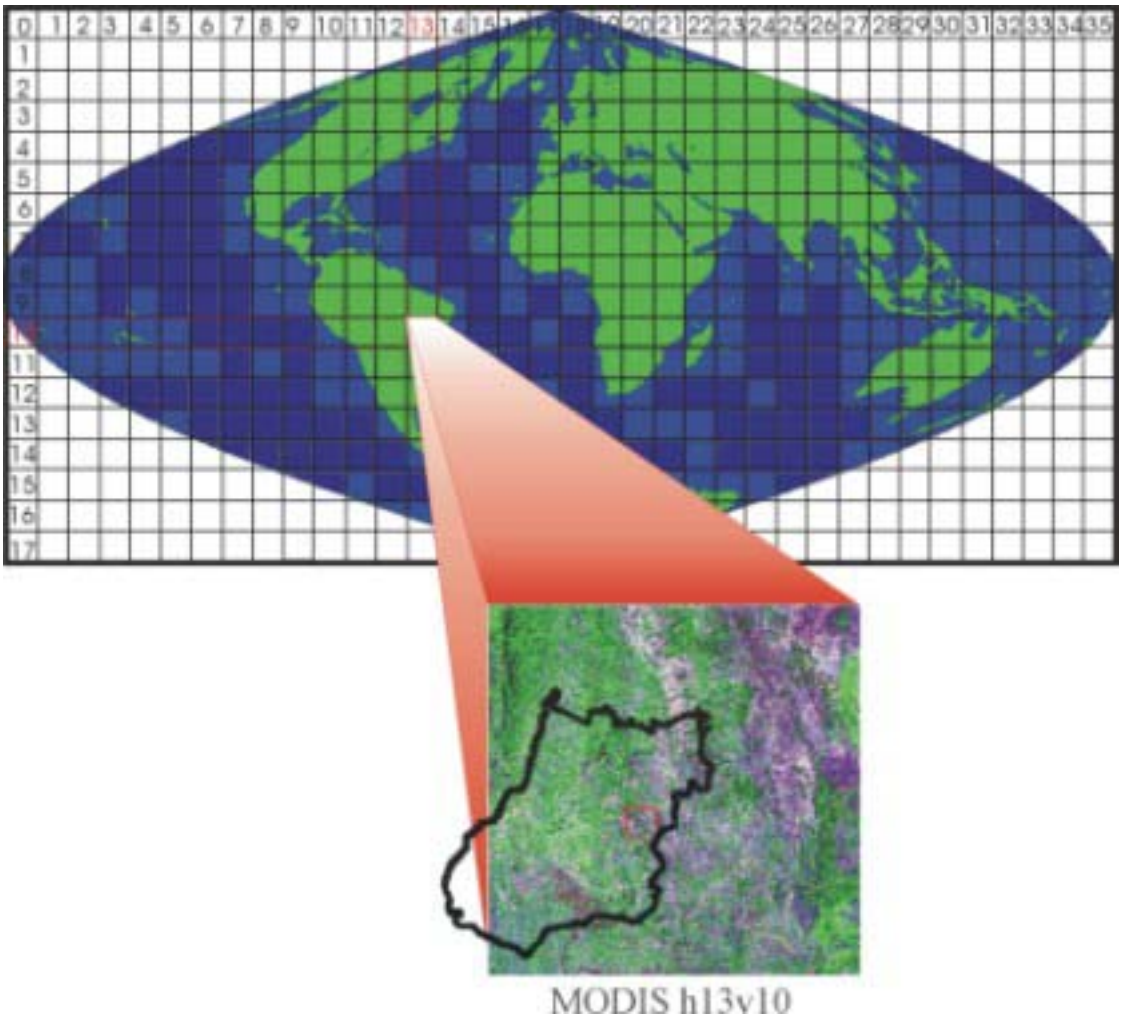

Figura 1- Área da pesquisa - *tile* h13v10 da imagem MODIS

Apesar da atual busca pelo sinergismo entre as imagens de resoluções diferenciadas, nesta pesquisa, considerando a análise regional, utilizamos para Goiás apenas as imagens MODIS, haja vista a inviabilidade de obtenção e processamento das vinte e três cenas das imagens TM. Porém, focando uma escala de trabalho maior, também foram consideradas duas áreas teste, uma no *tile* h13v10, que se refere ao Parque Nacional de Brasília – PNB e outra no *tile* h12v10, referente ao Parque Nacional das Emas. – PNE. O uso destas áreas de teste foi necessário por dois motivos: primeiro por estarmos focando a pesquisa nos dados de um sensor de resolução moderada (MODIS), vislumbrando o seu uso para áreas de maior detalhe de escala; segundo porque estas áreas de maior escala são reservas ambientais, onde, em teoria, não encontraríamos mudanças efetivas, o que virá a fundamentar a qualidade ou não da metodologia empregada, para assim podermos estrapolar a análise para todo o Estado de Goiás.

Técnica de Processamento

Existe uma série de técnicas aplicáveis com vistas à detecção de mudanças. Optamos por utilizar o Modelo Linear de Mistura Espectral - MLME, com o intuito de observar as vantagens de se aplicar este tipo de metodologia, através da qual é possível identificar os alvos de interesse, além de estimar a proporção de cada um dos componentes do pixel.

Para compreender está técnica é preciso lembrar, que as imagens de sensoriamento remoto são resultado de uma varredura dos sensores sobre a área imageada, e que esta varredura varia de acordo com a resolução espacial do sensor, ângulo de visada ou com o Campo de Visada Instantânea do Sensor (IFOV). Esta captura de imagem porém, não isola objetos com resposta diferentes (Figura 2). Uma imagem qualquer é composta por diversos alvos diferenciados e estes se encontram distribuídos de forma "aleatória", reproduzindo a superfície imageada. Assim, na imagem, sob a grade de *pixel*s verticais e horizontais, os alvos se distribuem de forma disforme (disforme em relação à área do *pixels*), de maneira que devemos considerar a presença de *pixels* misturados, em que a resposta de vários alvos está sendo refletida, e de *pixels* puros, em que a resposta de um único alvo está sendo refletida (FERREIRA, 2003).

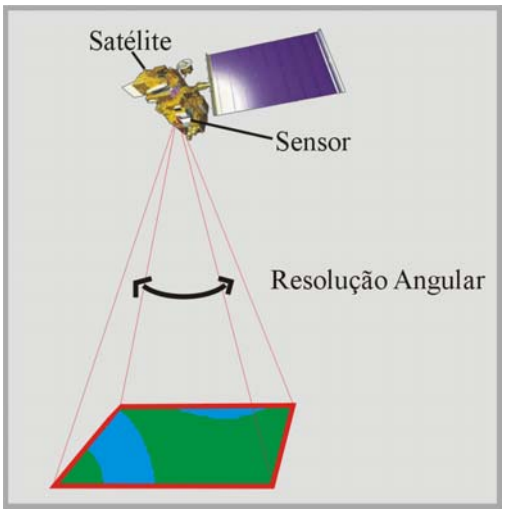

Figura 2 – Captação de um *pixel* misturado onde mais de um alvo é ressaltado

De acordo com SHIMABUKURO *et. al* (1998), a resposta de cada pixel, em qualquer banda espectral, pode ser definida como uma combinação linear das respostas de cada componente, desde que esteja no alvo sensoriado. Por exemplo, um *pixel* que represente a área de transição de um solo exposto para uma mata de ciliar vai conter respostas referentes a estes dois elementos. Na figura 3 apresentamos um pequeno conjunto de *pixels* no qual destaca-se à esquerda *pixels* não puros ou misturados e, à direita, *pixels* puros.

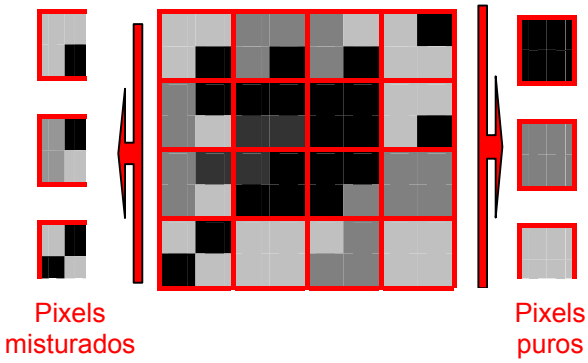

Figura 3 – Recorte de uma imagem com destaque para a presença de *pixels* misturados e *pixels* puros

Um *pixel* é considerado puro quando reflete a resposta de um só alvo. Para nos certificarmos da pureza do *pixel,* faz-se necessária à análise da assinatura espectral do mesmo. Vislumbrando a aplicação do MLME, no entanto, mesmo com este cuidado, deve-se considerar que, dependendo da quantidade de *pixels* coletados, um *pixel* não puro ou mal representativo da sua componente pode vir a influir para que se tenha resultados incorretos (SHIMABUKURO *et al.* 1998).

Existe um padrão a ser considerado de assinatura espectral para cada alvo, visto que o comportamento é previsível, desde que se considerem as especificidades pré-determinadas, sendo elas: variação na iluminação da superfície, aspectos topográficos, a umidade, o tipo de solo, ou de vegetação, as mudanças no ângulo solar zenital, etc. (Figura 4). Na ilustração, podemos observar a característica da assinatura de três elementos: o solo (arenoso e argiloso), a vegetação (fotossínteticamente ativa) e a água.

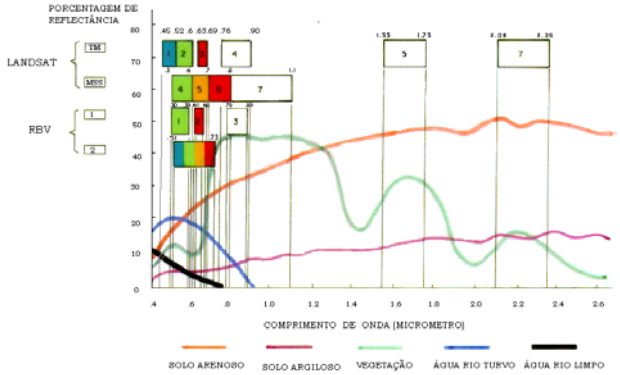

Figura 4 – Padrão de curvas da assinatura espectral dos alvos vegetação, solo e sombra.

Vislumbrando a detecção de mudanças, temos que *pixels* que correspondam a radiância de diversos componentes da imagem tornam-se um fator complicador, ainda mais se considerarmos que em uma imagem qualquer a porcentagem de pixels misturados é bem maior em relação aos *pixels* puros (FERREIRA, 2003). O Modelo Linear de Mistura Espectral, porém, vem contribuir neste sentido, uma vez que visa estimar as proporções das radiâncias de cada componente que contribui para a formação da radiância total dentro do *pixel* (SHIMABUKURO e SMITH, 1991) de forma precisa e considerando a escala do subpixel.

O MLME parte do princípio de que o espectro de um *pixel* misturado pode ser "dismisturado", desde que se conheça a resposta de cada um dos componentes puros que o compõem. Estes componentes puros são os *endmembers*[3]. Assim, os *endmembers* vão modelar a imagem de forma a estimar as proporções de cada um dos componentes que formam o *pixel.*

A imagem Modelada é expressa na forma de diferentes imagens fração, resultantes da resposta espectral de cada um destes componentes nas diversas bandas do sensor. A lógica a ser considerada é a de que, desde que os elementos possam ser conhecidos e suas respostas espectrais obtidas (SHIMABUKURO *et al*., 1998) é possível gerar imagens específicas para cada componente da imagem.

É preciso ressaltar que o MLME, além de estimar a proporção dos componentes dentro do *pixels*, também é utilizado para reduzir a dimensionalidade dos dados, uma vez que destaca apenas a resposta dos alvos de interesse e, por conseqüência, reduz também o tempo de processamento das imagens (SHIMABUKURO *et al*., 1998).

3 Endmember significa um pixel considerado puro dentro da imagem a ser utilizado para a aplicação do MLME

O modelo de mistura pode ser entendido através da seguinte equação (SHIMABUKURO *et al*., 1998):

Equação 3:

$$r_i = a^* veg_i + b^* solo_i + c^* sombra_i + e_i$$

Onde:

r_i = refere-se à resposta do *pixel* na banda i

a = proporção da vegetação

b = proporção de solo

c = proporção de sombra ou água

veg_i = resposta espectral do componente vegetação na banda i

$solo_i$ = resposta espectral do componente solo na banda i

$sombra_i$ = resposta espectral do componente sombra ou água na banda i

e_i = erro na banda i

i = a banda do sensor

Como observado na equação, o MLME gera uma imagem erro que corresponde aos valores residuais presentes em cada *pixel*, ou seja, são resquícios de elementos da imagem que não foram identificados. A imagem erro possibilita que se verifique a qualidade do *endmember*, pois quanto maior o erro, pior a qualidade do *pixel* utilizado.

Para a aplicação do MLME é necessário, que se estabeleça um número de componentes compatíveis com o número de bandas reflectância a serem utilizadas. Neste estudo, fizemos uso de três bandas, sendo no MODIS os canais referentes ao *red*, *NIR* e *MIR* e no Landsat os canais 3, 4 e 5, considerados canais compatíveis viabilizando assim o sinergismo entre imagens. Compatível com os três canais selecionados optou-se por definir três componentes a serem destacados no modelo. São eles: componente solo, componente vegetação densa e componente água, através dos quais obtivemos respectivas imagens fração vegetação, imagem fração solo e imagem fração sombra, além da imagem erro.

Métodologia e Programas utilizados

Tendo sido aplicado o MLME para as imagens MODIS dos anos de 2001 e 2002, auxiliada por valores referentes às imagens TM dando maior confiabilidada aos valores aplicados, foram seleciondas duas imagens-fração resultantes. Sendo: imagem-fração solo e imagem-fração vegetação. Estas imagens foram submetidas a duas metodologias para detecção de mudanças. Uma referênte à aplicada pelo Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia – PRODES, que se refere basicamente à segmentação e classificação automática das imagens; além de outro método denominado: Sistema Integrado de Alerta do Desmatamento – SIAD, onde é considerada subtração entre bandas, através de um peso que é referênte a qualidade do *pixel*.

Para o processamento das imagens, foram utilizados basicamente os programas: Spring 4.0 e ENVI 3.4.

RESULTADOS

Esta pesquisa teve como foco principal discutir a viabilidade de se utilizar imagens MODIS, com vistas à identificação de mudanças na paisagem do Cerrado. Para tanto, transformamos estas imagens através do MLME e ressaltamos as mudanças detectadas através de duas metodologias: PRODES e SIAD.

A metodologia do PRODES resultou em quatro mapas de uso da terra para o Estado de Goiás, dois baseados nas imagens fração solo de 2001 e 2002 (Figura 5) e outros dois baseado nas imagens fração vegetação das mesmas datas (Figura 6).

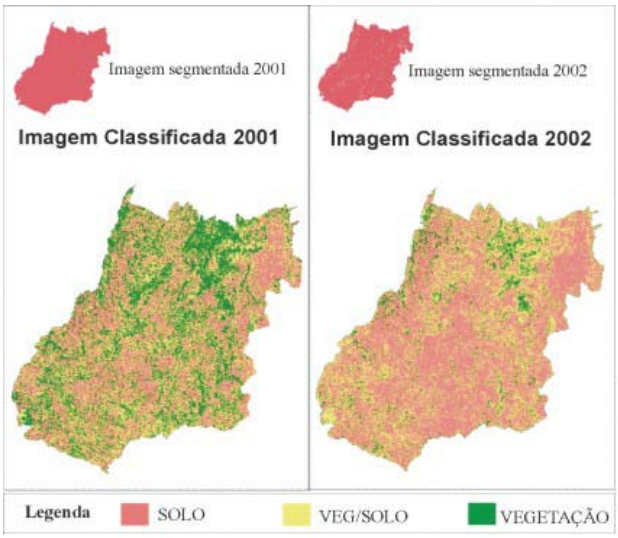

Figura 5 – Método PRODES - Imagens fração solo segmentadas e classificadas 2001 e 2002

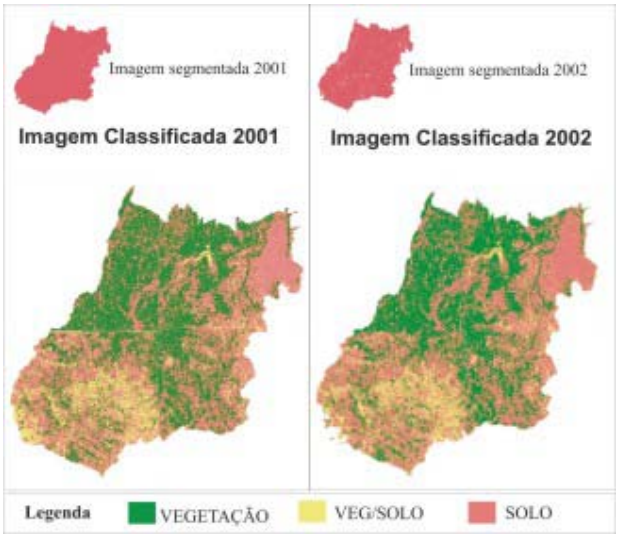

Figura 6 – Método PRODES - Imagens fração solo segmentadas e classificadas 2001 e 2002

Para o mapa gerado através das imagens fração solo, os resultados demonstraram uma evidente mudança na paisagem do ano de 2001 para 2002, onde a classe de Vegetação (ausência de solo) apresenta uma grande perda de área para as outras classes, a saber: Solo (solo exposto) e Veg/Solo. Assim, o cálculo de áreas apresenta uma mudança de 2001 para 2002, onde ocorreu um aumentou de 16,19% nas áreas de Solo exposto. Já para o mapa gerado através das imagens fração vegetação, os resultados também demonstram uma mudança na paisagem entre os anos de 2001 para 2002. Porém, se comparado com resultados referentes a fração solo, esta diferença culminou em valores irrelevantes, sendo

da grandeza de 0,00002%. As mudanças encontradas refere-se a classe de Vegetação (ausência de solo) apresentando perda de área para as outras classes: Solo (solo exposto) e Veg/Solo.

Diante destes resultados, foi constatada uma mudança na paisagem entre 2001 e 2002. Na qualificação destas mudanças, percebemos que estas dizem respeito à gradação entre as fisionomias de Cerrado, onde temos que o Campo limpo, o Campo sujo e até mesmo o Cerrado *strito sensu* apresentam uma proporção de solo bastante elevada em relação a sua área foliar. Observa-se também que estas feições de Cerrado são facilmente confundidas, principalmente por estarmos utilizando um método de classificação automático, com áreas de agricultura e de pasto plantado, dada a semelhança referente à proporção de solo e vegetação. O mapa referente a fração vegetação encontrou um valor de mudança muito baixo, porém, se considerarmos que estas dizem respeito ao intervalo de apenas um ano, este resultado é mais real que o encontrado para a fração solo.

Em seguida aplicamos a metodologia do SIAD para as mesmas imagens fração. Nesta metodologia porém, para se estabelecer a subtração entre bandas é preciso definir um limiar, onde quanto menor o valor, menor é a possibilidade de retenção pelo filtro. De acordo com a literatura, não existem valores estabelecidos para o limiar. Optamos por realizar testes com quatro diferentes valores, para assim detectar os diferentes níveis de mudanças observáveis na paisagem. Os valores de limiar utilizados foram 20%, 35%, 42% e 50% (Figura 7).

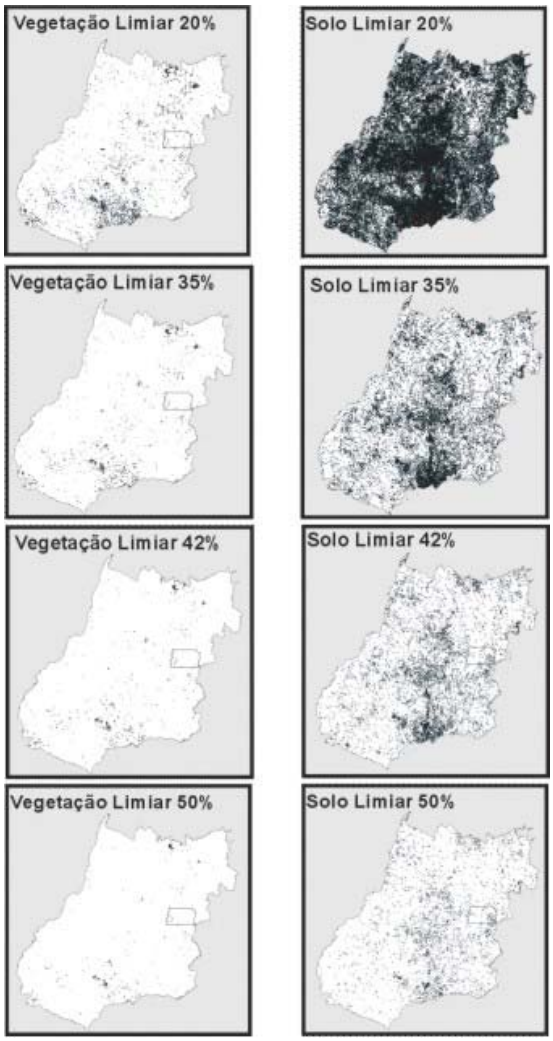

Figura 7 – Método SIAD - Detecção de mudanças entre imagens fração de 2001 e 2002

Um primeiro, fator que chama a atenção neste conjunto de resultados de detecção de mudanças é o de que imagens fração solo apresentaram mais mudanças do que as imagens fração vegetação, para todos os limiares utilizados. Resultado semelhante ao observado com a metodologia do PRODES. Assim, podemos dizer que o componente solo é mais passível de incompatibilidade no Modelamento. Este fato se deve, provavelmente, por este componente apresentar mais variações na imagem devido à proporção em relação aos elementos formadores. Se considerarmos o fato, de que o Modelo destaca de forma clara apenas os elementos formadores da imagem, ou seja, na fração solo: presença ou ausência desta componente; na fração vegetação, presença ou ausência da componente, os outros elementos são passíveis de confusão na distinção da categoria pertencente. Assim, a fração solo confunde os elementos de composição parecida como, por exemplo, cerrado ralo com campo sujo, campo limpo com pastagem ou ainda com área de agricultura, destacando mais mudanças.

Outra observação relaciona-se ao aumento no valor do limiar, que resulta em uma diminuição nas mudanças destacáveis, tanto para as imagens fração solo quanto para as imagens fração vegetação. Esta proporção de mudanças é gradual para ambas, ficando a fração solo, todavia com valor superior de mudanças em relação à fração vegetação, mesmo considerando para esta o limiar de 50%. Foram considerados *pixels* de mudanças todos os destacados, não cabendo, neste momento, discutir a porcentagem de mudança contida no mesmo.

De forma geral, consideramos que a técnica de detecção via metodologia do SIAD se mostrou mais eficaz para o Cerrado, uma vez que, considerando um limiar de 50% de restrição de mudança, é possível isolar mudanças relativas a uma má modelagem da imagem. Observamos que o uso das imagens MODIS, por possuírem uma resolução moderada, não inviabiliza a aplicação do MLME, com vistas a detecção de mudanças. No entanto, o fato das imagens se referirem a um mosaico de *pixels* de 16 dias representa um cuidado, além do que, sua resolução de 250 pode ignora mudanças de pequenas e média abrangências.

Por fim, estes resultados não indicam a inviabilidade do uso so sensoriamento remoto para o monitoramento, outro sim propõe que devam ser estabelecidos protocolos que tornem a manipulação das imagens unificadas, para deste modo, minimizar os possíveis erros na detecção de mudanças na paisagem do Cerrado.

REFERÊNCIAS

BARREIRA, C. C. M. A. O Impacto da integração Nacional sobre o território goiano. Disciplina: Ambiente e Ocupação da Região do Cerrado. Texto de apoio. IESA. 2000.

CAMARGO, A. P. de Clima do Cerrado. In: FERRI, M. G. (coordenação) Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo. Edgard. 1971.

EITEN, G. Classificação da vegetação do Brasil. Brasília. 1983.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (organização) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectives. Brasília, Editora UNB. 1994. 17-73p.

ELIS, B. O Tronco. José Olimpio. Rio de Janeiro. 1997.

FERREIRA, M.E. Análise do modelo linear de mistura espectral na discriminação de fitofisionomias do Parque Nacional de Brasília (Bioma Cerrado). Brasília, 2003, 121p. Dissertação (Mestre em Sensoriamento Remoto) Instituto de Geociências. UNB.

FUNDAÇÃO PRÓ-NATUREZA. Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recurvos naturais renováveis. Brasília. FUNATURA, IBAMA, 1992.

MANTOVANI, J.E.; PEREIRA, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal do Cerrado através de dados TM/Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998. Santos. 1998. CD-ROM.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Ações prioritárias para a conservação de biodiversidade do Cerrado e Pantanal. Ministério do Meio Ambiente/ FUNATURA/ *Conservation Internacional*/ Fundação Biodiversitas/UNB. 1999.29p.

NOVAIS, P.; FERREIRA, L. G.; DIAS, R.. Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação da Bio-Geodiversidade no Estado de Goiás.Texto inédito para o Boletim Goiano de Geografia. 2004.

RIBEIRO, J.F. ; WALTER, B. M.T. Fisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P.(organização) Cerrado: Ambiente e Flora. Planaltina. Goiânia: Embrapa CPAC. 1998. 89-152p.

SANO, E. E.; BARCELAR, A O; BEZERRA, H.S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. Pasturas Tropicales, v.22, n.3. 2000. 2-15p.

SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do pantanal. Revista: pesquisa agropecuária brasileira., v 33 Número Especial. 1998.1729-1737p.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. The least-squares mixing models to generate fraction images derived fron remote sensing multispectral data. Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol. 29 nº 1. 1991.16-20p.

WWF. Expansão agrícola e perda da biodiversidade no Cerrado: Origens históricas e o papel do comércio internacional. Brasília: WWF. 2000. 104p